

CHARACTERISTIC ANALYSIS OF QUARTZ DEFORMATION BY SHOCK LOADING

Chu Yucheng Zhao Jingzhen

Abstract

The vien quartz samples were shocked from 2.18 to 37.41 GPa by plane wave generators. On the basis of thermo-luminescence measurement, X-ray analysis, specific gravity and refractive index determination, the damage degree of the quartz crystals is divided into three levels according to the pressure, i.e. from 2.18 to 9.11, 9.11 to 18.01, 18.01 to 37.4 GPa. As the shock pressure is over 26.89 GPa, the most part of quartz crystals is transformed into thetomorphic. The characteristics of quartz deformation reflectes that the damage levels in the shocked quartz is closely related to shock pressure.

液体炸药线型切割器设计与应用研究

吕春绪

本文阐述了线型聚能切割的基本原理。在实验的基础上,设计了具有最佳结构参数的液体炸药线型切割器,并确定了某些最佳使用条件,为液体炸药线型切割器的实际应用,提供了依据。

液体炸药线型切割器主要用来切割钢板或其它坚硬材料。其基本原理是利用有罩聚能效应。

有罩聚能装药中的药型罩(铜)的作用是将炸药的爆轰能量转换成罩的动能,从而提高聚能作用。即装药爆轰后,药型罩内壁附近的金属在对称平面上形成向着装药底部以高速运动的片状射流(称之为聚能刀)来切割钢板。

由起爆点传播出来的爆轰波到达药型罩时,压力达十万个大气压以上,在此高压作用下,金属罩被压垮,并不断地“挤”出一股连续的高速金属射流,而且迅速向轴线方向运动,射流速度一般可达3000米/秒,计算表明:该装填SJY炸药的有罩聚能装药的能量密度为无罩聚能装药的1.72倍,这说明了使用铜罩的优越性,它具有无罩聚能效应所无法比拟的切割能力。

药型罩的结构尺寸具有重要的意义,我们的切割器的结构设计主要是通过实验及数学处

理获得(铜)罩的最佳参数的。

一、液体炸药线型切割器最佳结构参数设计

液体炸药线型切割器是一种采用楔形的金属罩、平面对称型的聚能装药。其主要结构的参数如下图所示

根据过去的实验结果,我们的液体炸药线型切割器选用紫铜作罩材,以A₃钢为主要靶板。实验研究了罩厚、罩顶角、罩宽、药高、药厚等单因素对切割深度的影响,获得了大量切割数据,数据采用标准误差处理后,取得了各项因素在最大穿深时的最佳值;对于一些比较规则的曲线,通过回归方程得到最佳点。例如:我们在固定其它结构参数的前提下,实验研究了罩厚 δ 为0.8、1.2、1.5、2.0及2.5毫米等对穿深(A)的影响,优选后获得三条规整的曲线,经过回归处理,

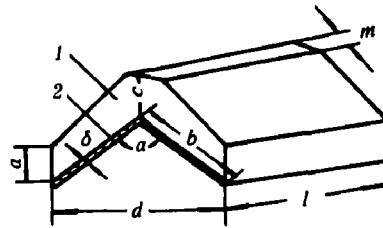


图1 液体炸药线型切割器结构参数示意图

1.装药 2.金属罩 a.药厚
b.罩宽, c.药高, d.罩口宽
e.罩顶角, f.罩厚, l.罩长,
m.装药上口宽

得到三条曲线的近似方程为

$$A = -14.38\delta^2 + 47.5\delta - 19.2, \quad \frac{dA}{d\delta} = -28.76\delta + 47.5$$

$$A = -14.39\delta^2 + 38.75\delta - 0.71, \quad \frac{dA}{d\delta} = -28.58\delta + 38.75$$

$$A = -7.14\delta^2 + 19.29\delta + 12.14, \quad \frac{dA}{d\delta} = -14.28\delta + 19.29$$

解上述微分式,分别求得在 δ 为1.65、1.36及1.35时的极值,也就是说对SJY液体炸药装药来说,在其它最佳条件固定前提下,罩厚与罩口宽之比(δ/d)的最佳值为0.034~0.043。即此厚度的金属罩切割钢板具有穿深的最佳值。

通过正交实验,可以进一步验证单项因素最佳点在其它因素影响条件下的可靠性,同时还可以确定诸因素中,哪个因素是主要因素。如:我们进行了罩厚、罩宽及炸高(H)三因素三水平的正交实验,使用SJY液体炸药(比重:1.360/15℃,撞击感度16%,爆速8140米/秒),A₃钢为靶板,正交实验及数据处理结果如下:(紫铜罩, $\alpha = 90^\circ$, $a = 6$ 毫米, $l = 100$ 毫米,靶板厚30毫米,每组4发)

表中 k 为正交实验各因素的效果值, R 为极差,对于三个指标 A 、 A/d 及 A/β 均可作图,但 A/β 值更合理。

从表1、2明显看出,罩厚的极差最大达6.1,炸高的极差最小为2.9,即这组正交实验中罩厚的影响是主要因素,相对比较而言,炸高的影响是次要因素。根据极差确定出相互影响下的三个因素各自的最佳值。

同时也作了罩顶角(α)、罩宽(b)及顶高(c)的相互影响的正交实验,根据数据处理的结果,确定出该三因素中罩顶角是对穿深影响的主要因素,而顶高是次要因素。

对于液体炸药线型切割器影响穿深的结构因素有:罩厚(δ),罩顶角(α),罩宽(b),炸高(H),药高(c)及药厚(a)等因素。这六个因素称为独立物理量,只有一个长度量

表1 正交实验实施表 (单位: 毫米)

组号	罩宽 (b)	罩口宽 ((d)	炸高 (H)	罩厚 (δ)	药高 (c)	单位长药重 克 (β)	穿 深		
							A(平均值)	A/d	A/β
1	17	24.0	14	1.2	15.5	0.630	21.7±1.4	0.90	34.4
2	17	24.0	18	1.5	15.0	0.630	23.6±1.1	0.98	37.5
3	17	24.0	22	1.8	14.0	0.630	21.5±0	0.90	34.1
4	21	29.7	18	1.8	14.5	0.705	22.0±0.6	0.74	31.2
5	21	29.7	22	1.2	14.0	0.705	22.8±1.5	0.77	32.3
6	21	29.7	14	1.5	15.0	0.705	24.8±0.5	0.84	35.2
7	25	35.4	22	1.5	15.0	0.846	30.0±0	0.85	35.5
8	25	35.4	14	1.8	15.5	0.836	20.5±1.8	0.58	24.5
9	25	35.4	18	1.2	16.0	0.840	28.8±1.0	0.81	34.3

表2 正交实验数据处理表 (单位: 毫米)

	A			A/d			A/β		
	δ	b	H	δ	b	H	δ	b	H
I	73.3	66.8	67.0	2.48	2.78	2.32	101.0	106.0	94.1
II	78.4	69.6	74.4	2.67	2.35	2.53	108.2	98.7	103.0
III	64.0	79.3	74.3	2.22	2.24	2.52	89.8	94.3	101.9
k ₁	24.4	22.3	22.3	0.83	0.93	0.77	33.7	35.3	31.4
k ₂	26.1	23.2	24.8	0.89	0.78	0.84	36.0	32.9	34.3
k ₃	21.3	26.4	24.8	0.74	0.75	0.84	29.9	31.4	34.0
R							6.1	3.9	2.9

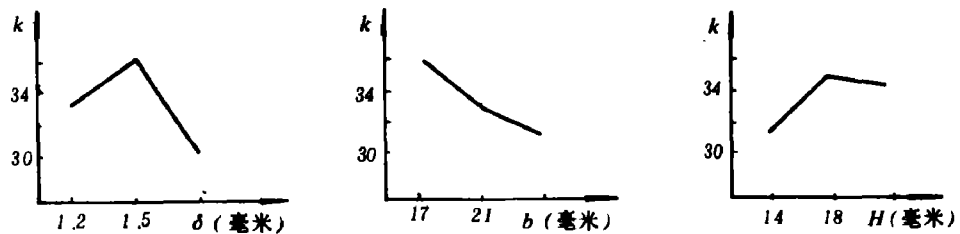


图2 按A/β的效果和因素关系图

纲。由Π定理可以组成的无量纲参数，为 a 、 δ/b 、 c/b 、 a/b 、 H/b 。

我们对 $\alpha = 90^\circ$ 、 $H/b = 1.0$ 、 $c/b = 1.0$ 的设计在 45° 钢板上进行了几何放大实验，求出穿深(A)与罩宽(b)的关系，然后对其数据利用最小二乘法处理，得到直线方程

$$A = m_1 b + n_1, \quad m_1 \text{ 及 } n_1 \text{ 为常数}$$

作图表明 $A - b$ 线性关系较好。

我们也获得了所设计的液体炸药切割器的比药量(β)与穿深(A)之间的关系式

$$\beta = m_2 A^2 + n_2 A + Q \quad (16 < A < 60)$$

上式中: m_2 、 n_2 及 Q 为常数; β (比药量): 单位长度需药量(公斤/米); A (穿深): 钢板被切深度(毫米)。

该关系式在工程上有较大价值, 它可以直接估算出欲切割任何厚度的钢板所需要的单位长度上的药量。

基于上述实验研究结果, 我们设计的液体炸药线型切割器切割结果示意于图3、4。

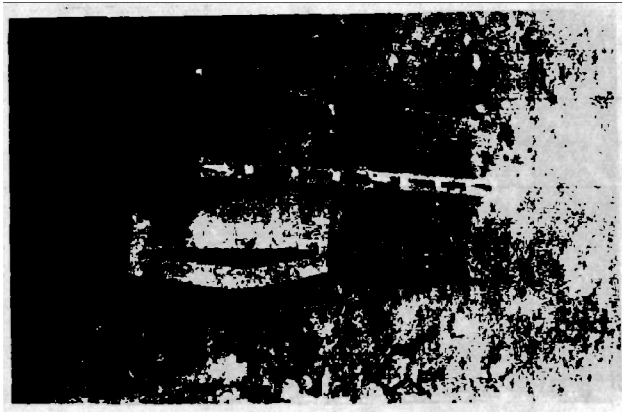


图 3 液体炸药线型切割器切割钢板实验图

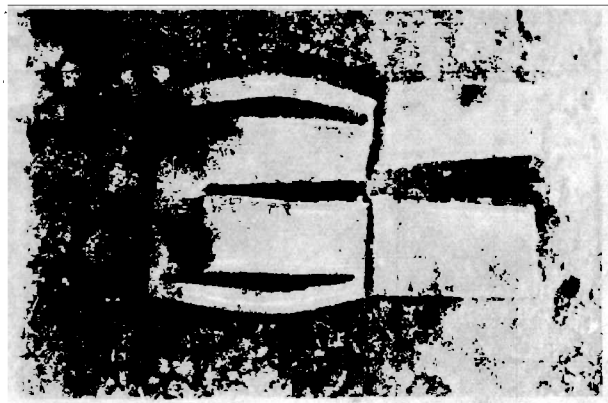


图 4 液体炸药线型切割器切割钢板结果图

二、液体炸药线型切割器应用条件研究

具有最佳设计参数的液体炸药线型切割器的效能发挥得是否完全与使用条件密切相关。

因此，只有在最佳使用条件下，才能获得液体炸药线型切割器的最佳效果。它的使用条件包括炸高、靶材及其安放方式、起爆点位置以及传爆药柱的选择等等。

1. 最佳炸高的确定

在其它条件固定不变的情况下，使用SJY炸药，25毫米A₃钢板研究了炸高对穿深的影响，得到的部份实验数据如下表所示。

表3 炸高对穿深的影响 (5毫米<炸高>45毫米)

序 号	炸高(毫米)	穿 深(毫米)			备 注
		A	A/d	A/β	
1	5	16.5	0.47	16.7	
2	10	17.0	0.49	17.2	
3	15	25.0	0.71	25.3	穿 透
4	20	25.0	0.71	25.3	穿 透
5	25	25.0	0.71	25.3	穿 透
6	30	18.0	0.51	18.2	
7	35	20.0	0.57	20.3	
8	45	18.0	0.51	18.2	

使用30毫米A₃钢板，在炸高为13到25毫米范围内作出的实验结果示于表4。

表4 炸高对穿深的影响 (13毫米<炸高<25毫米)

序 号	炸高(毫米)	穿 深(毫米)		备 注
		A	A/β	
1	13	21.4±1.4	25.5	
2	15	26.6±2.1	30.9	钢板背后鼓包
3	18	27.5±0.2	31.7	钢板背后鼓包、裂纹
4	20	24.8±1.8	26.7	
5	22	22.8±1.6	26.4	
6	25	23.4±1.8	26.8	

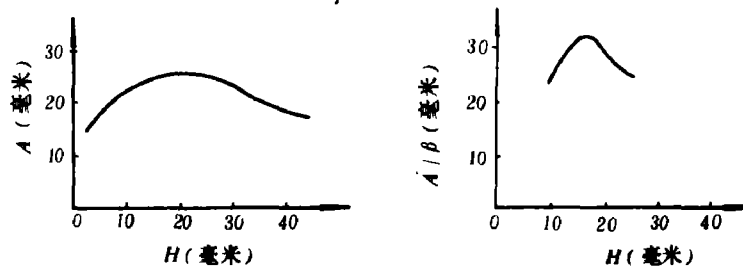


图5 炸高与穿深的关系图

从上述实验数据可以看出，炸高在15~18毫米范围内穿深效果较好，能形成比较稳定的射流。炸高大于20毫米，虽然炸高增高，射流伸长，对穿深有一定好处，但是，伸长的射流也会产

生径向分散和摆动, 能量损失严重, 从而造成射流断裂或飞散而影响穿深; 炸高小于15毫米, 有时因金属流与杵体没有完全脱离, 故此切缝中均有杵堵现象, 还有时因炸高太低, 金属罩虽被压跨, 但还没来得及挤出金属射流就接触到钢板, 对钢板仅产生崩落现象, 而不能有效穿深钢板。下图是炸高不合理时切割状况。炸高不合理, 射流飞散, 根本没有穿深钢板。

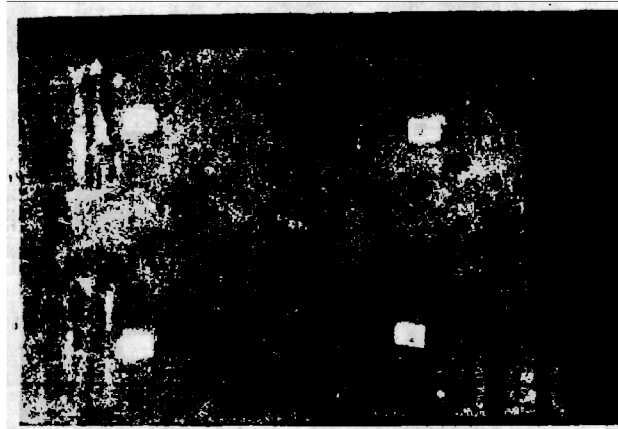


图6 不合理炸高穿深结果图(射流飞散)

炸高参数: 1': 5毫米; 2': 0毫米; 3': 30毫米; 4': 35毫米

考虑到其它因素的综合作用, 又把炸高与其它因素如罩厚及罩宽等进行正交实验, 有效炸高仍然在15~18毫米时具有最佳结果。

2. 靶材及其安放方式的实验研究

实际使用中所遇到的被切钢板(靶材)的型号不可能一样, 被切钢板所处的位置也不相同, 为了满足切割各种钢板的需要, 研究它们之间的差别有实际意义。不同钢板及不同安放条件的切割实验结果如下表所示

表5 不同钢板(靶材)对穿深的影响

序号	钢板型号	破坏强度极限 σ_b (千克/毫米 ²)	屈服强度极限 $\sigma_{0.2}$ (千克/毫米 ²)	厚度 (毫米)	单位长药重 β (克/毫米)	穿深 A (毫米)
1	A ₃ 钢	40.3	23.8	25	0.705	24.0±1.0
2	45# 钢	63.9	36.6	25	0.705	22.0±0.0
3	603装甲钢	115~125	90~110	25	0.705	18.1±1.0

表6 不同钢板安放方式对穿深的影响

序号	钢板安放方式	钢板厚度(毫米)	单位长药重 β (克/毫米)	穿深 A (毫米)
1	架空(离地20毫米)	30	0.888	27.0±0
2	地上(可压缩性土壤)	30	0.888	25.1±0.4
3	垫钢板(厚度25毫米)	30	0.888	21.5±2.0

在603装甲钢上切割结果如下图（四条长形切口为切割器所切）



图7 在合金钢(603装甲钢)上切割结果图(外长条切口与本文无关)

被切钢板的密度及强度对切深影响较大。按照定常不可压缩流体理论，切深(A)有如下关系式

$$A = l \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_s}}$$

即切深与射流有效长度(l)成正比，与药型罩材料密度(ρ_l)的平方根成正比，而与钢板密度(ρ_s)的平方根成反比。但是，实际上不考虑钢板的强度是不行的，因为被切钢板的密度相差无几，但强度却相差很大，特别在射流微元速度小于5000米/秒时，强度影响更加显著，强度愈高，与流体相差愈大，此时穿深速度下降就愈大。从表4数据明显看出，随被切钢板强度增加，穿深下降。这一点告诉我们使用切割器时，必须根据被切材料性质，按几何相似律放大或缩小切割器的几何尺寸，以适应实际需要。

钢板安放方式的实质也是被切钢板的强度问题。垫上一块钢板相当于给被切钢板增加了抗力，特别在射流作用的后期，抗力影响更突出，抗力小的射流易穿透钢板，而抗力大的射流不易再穿深。这一点启示我们对待实际工程中有扶强结构或复合钢板时，切割器设计要比正常情况(同样厚度)要有较大的强化措施。

3. 起爆点位置及传爆药柱的正确选择

实验发现：起爆点位置及传爆药柱种类等对穿深有影响，但影响不大，在超过极限起爆药量以后，装药在临界直径以上，基本上均能稳定爆轰。起爆点位置及传爆药柱状况实验数据如下(使用SJY液体炸药，靶材为一定厚度的A₃钢紫铜罩，标准切割器)

在实际工程上均是使用长药条，其起爆点及传爆药柱状况的影响更小，只要保证完全起爆，稳定爆轰，切割便可很顺利地进行。大量长药条的稳定实验也完全证明了这一点。长药条切割结果如下图所示

表7 起爆点位置对穿深的影响 (钝化黑索金传爆药柱, 5克, 靶板 25 毫米)

序号	起爆点	比药量 β 克/毫米	穿 深(毫米)			备 注
			A	A/d	A/ β	
1	药柱直接接触铜罩	0.785	25.0±0.0	1.0	31.9	全 穿
2	药柱离开铜罩10毫米	0.771	24.7±0.4	0.99	32.0	全穿或靶板背面鼓包
3	药柱刚接触液体炸药药面	0.761	23.2±0.8	0.93	30.5	

表8 传爆药柱状况对穿深的影响 (药柱离罩10毫米, 靶板24毫米)

序号	传 爆 药 柱 状 况	比药量 β 克/毫米	穿 深(毫米)			备 注
			A	A/d	A/ β	
1	5克黑索金小药柱平躺起爆	0.740	23.4±1.8	0.98	31.6	靶板背面裂开、鼓包
2	5克黑索金小药柱垂直起爆	0.750	21.8±1.4	0.91	29.1	
3	5克黑索金小药柱斜放起爆	0.754	20.3±1.0	0.85	26.9	
4	5克黑索金大药柱斜放起爆	0.754	21.2±0.9	0.88	28.1	
5	5克太安小药柱平躺起爆	0.744	23.7±0.2	0.99	31.9	靶板背面裂开、近穿
6	5克C ₁ 塑性炸药平躺起爆	0.757	23.6±0.9	0.98	31.2	靶板背面裂开、鼓包
7	5克C ₁ 塑性炸药垂直起爆	0.757	22.5±0.7	0.94	29.7	



图8 在14毫米薄钢板上长药条切割结果图

三、几点结论

1. 液体炸药线型切割器是一种强有力的切割手段, 在某些方面, 它与电割、气割相比有其长处。适用于拆船及特种海洋工程等。

2. 液体炸药线型切割器的装药是液体炸药, 它与固体炸药相比, 在某些方面具有特色, 即密度均匀, 爆轰性能稳定; 具有流动性可充填任意形状的容器; 装药方便, 可在安装工人撤离现场后再灌药, 减少带药操作时间, 增加安全性。

3. 液体炸药线型切割器结构尺寸服从几何相似律。根据被切钢板的性质选择最优尺寸设计, 再在最佳使用条件下 (如有效炸高等) 应用, 定会收到最优设计效果。

4. 液体炸药线型切割器应用条件研究表明: 影响穿深重要因素中被切钢板的强度是不可忽视的因素, 强度越高, 穿深越低。起爆点及传爆药柱的影响较小, 只要起爆点沉在液体炸药中, 传爆药柱平躺起爆, 定会收到良好切割效果。

本文得到孙名振付教授的指导与帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 汤明钧, 爆破器材, 1(1982), 12.
- [2] 《爆炸及其作用》编写组, 爆炸及其作用(下册), 国防工业出版社(1979), 141.
- [3] 袁伯珍(译), 聚能现象的理论与实验研究, 国防工业出版社(1957).
- [4] 《炸药理论》编写组, 炸药理论, 国防工业出版社(1982), 278.

RESEARCH OF THE DESIGN AND APPLICATION OF LIQUID EXPLOSIVE LINEAR SHAPED CHARGE CUTTER

Lu Chunxu

Abstract

In this paper, the fundamental principle of linear shaped charge cutter is described. Based on a lot of experimental results, liquid explosive linear shaped charge cutter with the best structure parameters is designed. Some of the best conditions available is determined as the basis of practical applications.

电爆炸箔引爆纯太安的实验研究

周之奎

本文介绍了电爆炸箔引爆低密度纯太安的实验结果。主要研究了爆炸箔尺寸和爆炸电流密度对引爆过程的影响。实验结果表明, 这两种参数变化对到爆轰距离的影响是不敏感的, 但对到爆轰时间, 特别是对感应时间的影响则比较敏感。引爆过程用高速转镜相机记录。简短地讨论了由爆炸箔引爆炸药的机理。